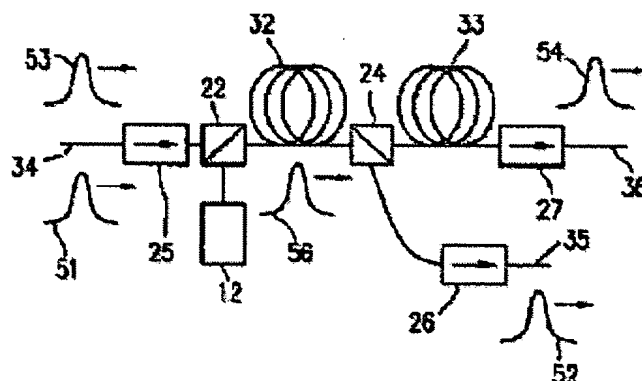


**OPTICAL FIBER AMPLIFIER AND OPTICAL FIBER TRANSMISSION SYSTEM****Publication number:** JP8116112**Publication date:** 1996-05-07**Inventor:** MITSUTA MASAHIRO; ODANI JIYUN; UNO TOMOAKI**Applicant:** MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD**Classification:**

**- International:** G02B6/00; G02F1/35; H01S3/06; H01S3/07; H01S3/17; H04B10/16; H04B10/17; G02B6/00; G02F1/35; H01S3/06; H01S3/17; H04B10/16; H04B10/17; (IPC1-7): H01S3/07; G02B6/00; G02F1/35; H01S3/17; H04B10/16; H04B10/17

**- European:****Application number:** JP19950216201 19950824**Priority number(s):** JP19950216201 19950824; JP19940200657 19940825[Report a data error here](#)**Abstract of JP8116112**

**PURPOSE:** To provide an optical fiber amplifier by which a plurality of beams of signal light whose quantity of input light and wavelength band are different can be amplified at an equal gain. **CONSTITUTION:** A beam of 1.56- $\mu$ m signal light 51 and a beam of 1.53- $\mu$ m signal light 53 are multiplexed, and they are incident on an erbium-doped optical fiber 32 from an optical fiber 34. A beam of exciting light 56 from a semiconductor laser 12 for excitation at a wavelength of 1.48 $\mu$ m is multiplexed with the beams of signal light by a multiplexer-branching filter 22 so as to be input to the doped optical fiber 32. The beam of exciting light 56 which has been transmitted through the doped optical fiber 32 is input to a doped optical fiber 33 via a multiplexer-branching filter 24. The beam of 1.56- $\mu$ m signal light 52 out of both beams of amplified signal light is branched by the multiplexer-branching filter 24, and it is output via an optical fiber 35. On the other hand, a beam of 1.53- $\mu$ m signal light 54 is branched by the multiplexer-branching filter 24, and it is input to the doped optical fiber 33. At this time, the beam of 1.53- $\mu$ m signal light 54 is amplified additionally by a beam of transmitted exciting light, and it is then output by an optical fiber 36.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

1/3

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-116112

(43) 公開日 平成8年(1996)5月7日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/07				
G 0 2 B 6/00				
G 0 2 F 1/35	5 0 1			
			G 0 2 B 6/ 00	E
			H 0 4 B 9/ 00	J
審査請求 有 請求項の数20 O L (全 16 頁) 最終頁に続く				

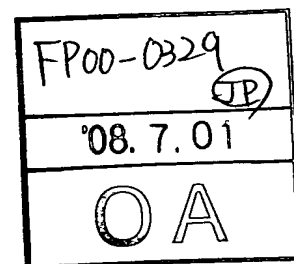
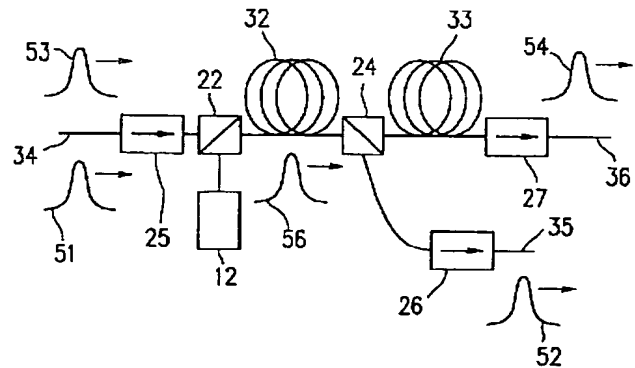
(21) 出願番号	特願平7-216201	(71) 出願人	000005821 松下電器産業株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地
(22) 出願日	平成7年(1995)8月24日	(72) 発明者	光田 昌弘 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願平6-200657	(72) 発明者	雄谷 順 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
(32) 優先日	平6(1994)8月25日	(72) 発明者	宇野 智昭 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
(33) 優先権主張国	日本 (J P)	(74) 代理人	弁理士 山本 秀策

(54) 【発明の名称】 光ファイバ増幅器および光ファイバ伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 入力光量と波長帯域の異なる複数の信号光を、等しい利得で増幅することができる光ファイバ増幅器を提供する。

【解決手段】 1.56  $\mu$ m 信号光51と1.53  $\mu$ m 信号光53は合波され、光ファイバ34からエルビウムドープ光ファイバ32へと入射される。波長1.48  $\mu$ m の励起用半導体レーザ12からの励起光56も、合波・分波器22により信号光と合波されてドープ光ファイバ31へ入力される。ドープ光ファイバ32を透過した励起光56は、合波・分波器24を経てドープ光ファイバ33へと入力される。増幅された両信号光のうち1.56  $\mu$ m 光52は、合波・分波器24により分波され、光ファイバ35を経て出力される。一方1.53  $\mu$ m 光54は合波・分波器24により分波されてドープ光ファイバ33へと入力される。ここで1.53  $\mu$ m 光54は、透過励起光によりさらに増幅された後に、光ファイバ36より出力される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 直列的に接続された複数の希土類添加光ファイバと、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバを励起するための励起光を生成する少なくとも一つの励起光源とを備え、入力された異なる波長を持つ複数の信号光を光学的に増幅する光ファイバ増幅器であって、

該複数の信号光のうちの第1の信号光は、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバのうちの一部の希土類添加光ファイバを伝播し、該複数の信号光のうちの第2の信号光は、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバの全部の希土類添加光ファイバを伝播する光ファイバ増幅器。

【請求項2】 前記直列的に接続された複数の希土類添加光ファイバの途中に接続された分岐光ファイバを備えており、前記第1の信号光は該分岐光ファイバを介して出力される、請求項1に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項3】 前記直列的に接続された複数の希土類添加光ファイバの途中に接続された分岐光ファイバを備えており、前記第1の信号光は該分岐光ファイバを介して入力される、請求項1に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項4】 前記複数の希土類添加光ファイバの各々は、前記第2の信号光に対する利得よりも高い利得を前記第1の信号光に与える状態に励起される、請求項1に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項5】 前記少なくとも一つの励起光源は半導体レーザを含む請求項1に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項6】 前記励起光源によって生成された前記励起光と前記複数の信号光とを合波する合波・分波器が、前記直列的に接続された複数の希土類添加光ファイバの入力部の何れかに接続されている請求項1に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項7】 前記励起光源によって生成された前記励起光と前記複数の信号光とを合波する合波・分波器が、前記直列的に接続された複数の希土類添加光ファイバの出力部の何れかに接続されている請求項1に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項8】 第1の波長帯域に属する光と第2の波長帯域に属する光の両方を選択的に透過し、該第1および第2の波長帯域に属しない光を前記分岐光ファイバに分離する手段が、前記直列に接続された複数の希土類添加光ファイバの途中に設けられている請求項2または3に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項9】 前記第1の信号光の波長は、前記第1の波長帯域及び前記第2の波長帯に含まれず、前記第2の信号光の波長は、前記第1の波長帯域または前記第2の波長帯域に含まれる、請求項8に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項10】 前記励起光の波長は、前記第1の波長帯域または前記第2の波長帯域に含まれる、請求項8に

記載の光ファイバ増幅器。

【請求項11】 前記第1の信号光の波長は前記第2の信号光の波長よりも長く、該第1の信号光はアナログ変調されており、該第2の信号光の波長はデジタル変調されている、請求項8に記載の光ファイバ増幅器。

【請求項12】 少なくとも第1の信号光の出力及び第2の信号光の入力を行う第1入出力部分と、

少なくとも該第1の信号光の入力及び該第2の信号光の出力を行う第2入出力部分と、

該第1入出力部分及び該第2入出力部分に接続された光ファイバ増幅部と、を備えた双方向光増幅器であって、該光ファイバ増幅部は、

直列的に接続された複数の希土類添加光ファイバと、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバを励起するための励起光を生成する少なくとも一つの励起光源とを備え、入力された異なる波長を持つ複数の信号光を光学的に増幅する光ファイバ増幅部であって、しかも、該複数の信号光のうちの第1の信号光は、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバのうちの一部の希土類添加光ファイバを伝播し、該複数の信号光のうちの第2の信号光は、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバの全部の希土類添加光ファイバを伝播する光ファイバ増幅部であり、

該光ファイバ増幅部分から受け取った該第1の信号光を該第1入出力部分に選択的に伝播する分波手段を更に備えている、双方向光増幅器。

【請求項13】 前記第1入出力部分から入力された前記第2の信号光と、前記第2入出力部に入力された前記第1の信号光とを合波し、該第1の信号光及び該第2の信号光の両方を前記直列に接続された複数の希土類添加光ファイバの入力部に入力する合波手段を備えている、請求項12に記載の双方向光増幅器。

【請求項14】 前記第2入出力部分から入力された前記第1の信号光を、前記直列に接続された複数の希土類添加光ファイバの途中に入力するための合波手段を備えている、請求項12に記載の双方向光増幅器。

【請求項15】 前記第1入出力部分に第1の光サーキュレータを備え、前記第2入出力部分に、第2の光サーキュレータを備えた、請求項12に記載の双方向光増幅器。

【請求項16】 前記第1入出力部分に第1の合波・分波手段を備え、前記第2入出力部分に第2の合波・分波手段を備えた、請求項12に記載の双方向光増幅器。

【請求項17】 第1の信号光を出射する第1の信号光源、及び第2の信号光を検出する第1の受光器を含む送信局と、

該第1の信号光を検出する第2の受光器、及び該第2の信号光を出射する第2の信号光源を含む受信局と、

該送信局と該受信局とを接続する光ファイバ伝送路と、

該光ファイバ伝送路の途中に設けられた光ファイバ増幅

器と、を備えた光ファイバ伝送システムであって、

該光ファイバ増幅器は、

直列的に接続された複数の希土類添加光ファイバと、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバを励起するための励起光を生成する少なくとも一つの励起光源とを備え、入力された異なる波長を持つ複数の信号光を光学的に増幅する光ファイバ増幅器であって、

該複数の信号光のうちの第1の信号光は、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバのうちの一部の希土類添加光ファイバを伝播し、該複数の信号光のうちの第2の信号光は、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバの全部の希土類添加光ファイバを伝播する、光ファイバ伝送システム。

【請求項18】前記第1の信号光として、少なくとも一つのアナログ変調された信号光を使用し、前記第2の信号光として、複数のデジタル変調された信号光を使用する請求項17に記載の光ファイバ伝送システム。

【請求項19】第1の信号光を出射する第1の信号光源、及び第2の信号光を検出する第1の受光器を含む送信局と、

該第1の信号光を検出する第2の受光器、及び該第2の信号光を出射する第2の信号光源を含む受信局と、

該送信局と該双方向光増幅器とを接続する光ファイバ伝送路と、

該光ファイバ伝送路の途中に設けられた双方向光増幅器と、を備えた双方向光ファイバ伝送システムであって、該双方向光増幅器は、

該第1の信号光の出力及び該第2の信号光の入力を行う第2入出力部分と、該第1の信号光の入力及び該第2の信号光の出力を行う第2入出力部分と、該第1入出力部分及び該第2入出力部分に接続された光ファイバ増幅部とを備えており、該光ファイバ増幅部は、

直列的に接続された複数の希土類添加光ファイバと、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバを励起するための励起光を生成する少なくとも一つの励起光源とを備え、入力された異なる波長を持つ複数の信号光を光学的に増幅する光ファイバ増幅部であって、しかも、該複数の信号光のうちの第1の信号光は、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバのうちの一部の希土類添加光ファイバを伝播し、該複数の信号光のうちの第2の信号光は、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバの全部の希土類添加光ファイバを伝播する光ファイバ増幅部であり、

該光ファイバ増幅部分から受け取った該第1の信号光を該第1入出力部分に選択的に伝播する分波手段を更に備えている、双方向光ファイバ伝送システム。

【請求項20】前記第1の信号光として、少なくとも一つのアナログ変調された信号光を使用し、前記第2の信号光として、複数のデジタル変調された信号光を使用する請求項19に記載の双方向光ファイバ伝送システム。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバを伝送路として用いる光伝送システムに於て、複数の信号光利得が均等になるように、それぞれ増幅することができる光ファイバ増幅器に関する。

#### 【0002】

【従来の技術】従来の多波長光ファイバ増幅器や双方向光ファイバ増幅器は、少なくとも希土類ドープ光ファイバと、希土類イオンを励起するための励起用半導体レーザー光源と、励起光を希土類ドープ光ファイバに結合する光カプラとを備えている。この光ファイバ増幅器に信号光が入力されると、励起光により反転分布状態になっている希土類イオンの誘導放出により、信号光が増幅される。複数の信号光を同時に同一の希土類ドープ光ファイバで増幅すると、希土類イオンの吸収・放出断面積を反映するため、利得が波長特性を示す。

【0003】このような波長による利得差を抑圧する方法としては、以下に挙げる報告がある。利得差の生じる理由である希土類ドープ光ファイバの吸収・放出断面積の波長依存性は、アルミニウムを共添加すると小さくなることが文献ジャーナル・オブ・ライトウェーブ・テクノロジー Vol. 9, No. 9, (1991年)第1105頁から第1112頁 (Journal of Lightwave Technology, Vol. 9, No. 9, pp. 1105-1112, 1991.)に報告されている。

【0004】さらに、音響光学素子を用いる方法が文献オー・エフ・シー／アイ・オー・オー・シー' 93 論文集 ThD 2, 1993年, (OFC'100C'93, paper ThD2, 1993)に、ファイバグレーティングを用いる方法が文献オー・エフ・シー' 91 論文集 PD 20-1, 1991年, (OFC'91, paper PD20-1)に、利得波長特性が互いにキャンセルするように光ファイバ増幅器を多段に接続する方法が文献オー・エー・エー' 93 論文集 SuE 3-1, 1993年, (OAA'93, paper SuE3-1, pp. 70-73, 1993)に提案されている。

【0005】いずれの場合も、利得特性が均一化されるのは入力光量が均一な場合のみであり、入力光量が異なる場合の利得均一化の方法は検討されていなかった。

#### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】光ファイバ増幅器に於いて、アナログ信号の増幅時には大入力光を、デジタル信号の増幅時には小信号光を入力することになる。従って、双方向光増幅器等のように、これらを同時に増幅する場合には、各信号の入力光量レベルが大きく異なるため、基本的に利得も不均一となる。一方で、多段縦続接続し分配系に使用する場合にも、各信号の受ける分配損は均等であるため、利得の不均一は受光部での光量不足等を引き起こし、伝送特性が劣化するという問題が生じる。

【0007】本発明は、入力光量が異なる複数の信号光

波長に対して均等な利得を得られる光ファイバ増幅器、および双方向光ファイバ増幅器を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の光ファイバ増幅器は、直列的に接続された複数の希土類添加光ファイバと、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバを励起するための励起光を生成する少なくとも一つの励起光源とを備え、入力された異なる波長を持つ複数の信号光を光学的に増幅する光ファイバ増幅器であって、該複数の信号光のうちの第1の信号光は、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバのうちの一部の希土類添加光ファイバを伝播し、該複数の信号光のうちの第2の信号光は、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバの全部の希土類添加光ファイバを伝播し、そのことにより上記目的が達成される。

【0009】前記直列的に接続された複数の希土類添加光ファイバの途中に接続された分岐光ファイバを備えており、前記第1の信号光は該分岐光ファイバを介して出力されても良い。

【0010】前記直列的に接続された複数の希土類添加光ファイバの途中に接続された分岐光ファイバを備えており、前記第1の信号光は該分岐光ファイバを介して入力されても良い。

【0011】好ましい実施形態では、前記複数の希土類添加光ファイバの各々は、前記第2の信号光に対する利得よりも高い利得を前記第1の信号光に与える状態に励起される。

【0012】好ましい実施形態では、前記少なくとも一つの励起光源は半導体レーザを含む。

【0013】好ましい実施形態では、前記励起光源によって生成された前記励起光と前記複数の信号光とを合波する合波・分波器が、前記直列的に接続された複数の希土類添加光ファイバの入力部の何れかに接続されている。

【0014】好ましい実施形態では、前記励起光源によって生成された前記励起光と前記複数の信号光とを合波する合波・分波器が、前記直列的に接続された複数の希土類添加光ファイバの出力部の何れかに接続されている。

【0015】好ましい実施形態では、第1の波長帯域に属する光と第2の波長帯域に属する光の両方を選択的に透過し、該第1および第2の波長帯域に属しない光を前記分岐光ファイバに分離する手段が、前記直列に接続された複数の希土類添加光ファイバの途中に設けられている。

【0016】好ましい実施形態では、前記第1の信号光の波長は、前記第1の波長帯域及び前記第2の波長帯に含まれず、前記第2の信号光の波長は、前記第1の波長帯域または前記第2の波長帯域に含まれる。

【0017】好ましい実施形態では、前記励起光の波長は、前記第1の波長帯域または前記第2の波長帯域に含まれる。

【0018】好ましい実施形態では、前記第1の信号光の波長は前記第2の信号光の波長よりも長く、該第1の信号光はアナログ変調されており、該第2の信号光の波長はデジタル変調されている。

【0019】本発明の双方向光増幅器は、少なくとも第1の信号光の出力及び第2の信号光の入力を行う第1入出力部分と、少なくとも該第1の信号光の入力及び該第2の信号光の出力を行う第2入出力部分と、該第1入出力部分及び該第2入出力部分に接続された光ファイバ増幅部とを備えた双方向光増幅器であって、該光ファイバ増幅部は、直列的に接続された複数の希土類添加光ファイバと、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバを励起するための励起光を生成する少なくとも一つの励起光源とを備え、入力された異なる波長を持つ複数の信号光を光学的に増幅する光ファイバ増幅部であって、しかも、該複数の信号光のうちの第1の信号光は、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバのうちの一部の希土類添加光ファイバを伝播し、該複数の信号光のうちの第2の信号光は、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバの全部の希土類添加光ファイバを伝播する光ファイバ増幅部であり、該光ファイバ増幅部分から受け取った該第1の信号光を該第1入出力部分に選択的に伝播する分波手段を更に備え、そのことにより上記目的が達成される。

【0020】好ましい実施形態では、前記第1入出力部分から入力された前記第2の信号光と、前記第2入出力部に入力された前記第1の信号光とを合波し、該第1の信号光及び該第2の信号光の両方を前記直列に接続された複数の希土類添加光ファイバの入力部に入力する合波手段を備えている。

【0021】好ましい実施形態では、前記第2入出力部分から入力された前記第1の信号光を、前記直列に接続された複数の希土類添加光ファイバの途中に入力するための合波手段を備えている。

【0022】前記第1入出力部分に第1の光サーキュレータを備え、前記第2入出力部分に、第2の光サーキュレータを備えていても良い。

【0023】前記第1入出力部分に第1の合波・分波手段を備え、前記第2入出力部分に第2の合波・分波手段を備えていてもよい。

【0024】本発明の光ファイバ伝送システムは、第1の信号光を出射する第1の信号光源、及び第2の信号光を検出する第1の受光器を含む送信局と、該第1の信号光を検出する第2の受光器、及び該第2の信号光を出射する第2の信号光源を含む受信局と、該送信局と該受信局とを接続する光ファイバ伝送路と、該光ファイバ伝送路の途中に設けられた光ファイバ増幅器とを備えた光フ

ファイバ伝送システムであって、該光ファイバ増幅器は、直列的に接続された複数の希土類添加光ファイバと、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバを励起するための励起光を生成する少なくとも一つの励起光源とを備え、入力された異なる波長を持つ複数の信号光を光学的に増幅する光ファイバ増幅器であって、該複数の信号光のうちの第1の信号光は、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバのうちの一部の希土類添加光ファイバを伝播し、該複数の信号光のうちの第2の信号光は、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバの全部の希土類添加光ファイバを伝播し、そのことにより上記目的が達成される。

【0025】好ましい実施形態では、前記第1の信号光として、少なくとも1つのアナログ変調された信号光を使用し、前記第2の信号光として、複数のデジタル変調された信号光を使用する。

【0026】本発明の双方向光ファイバ伝送システムは、第1の信号光を出射する第1の信号光源、及び第2の信号光を検出する第1の受光器を含む送信局と、該第1の信号光を検出する第2の受光器、及び該第2の信号光を出射する第2の信号光源を含む受信局と、該送信局と該双方向光増幅器とを接続する光ファイバ伝送路と、該光ファイバ伝送路の途中に設けられた双方向光増幅器とを備えた双方向光ファイバ伝送システムであって、該双方向光増幅器は、該第1の信号光の出力及び該第2の信号光の入力を行う第2入出力部分と、該第1の信号光の入力及び該第2の信号光の出力を行う第2入出力部分と、該第1入出力部分及び該第2入出力部分に接続された光ファイバ増幅部とを備えており、該光ファイバ増幅部は、直列的に接続された複数の希土類添加光ファイバと、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバを励起するための励起光を生成する少なくとも一つの励起光源とを備え、入力された異なる波長を持つ複数の信号光を光学的に増幅する光ファイバ増幅部であって、しかも、該複数の信号光のうちの第1の信号光は、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバのうちの一部の希土類添加光ファイバを伝播し、該複数の信号光のうちの第2の信号光は、該直列に接続された複数の希土類添加光ファイバの全部の希土類添加光ファイバを伝播する光ファイバ増幅部であり、該光ファイバ増幅部分から受け取った該第1の信号光を該第1入出力部分に選択的に伝播する分波手段を更に備え、そのことにより上記目的が達成される。

【0027】好ましい実施形態では、前記第1の信号光として、少なくとも1つのアナログ変調された信号光を使用し、前記第2の信号光として、複数のデジタル変調された信号光を使用する。

【0028】このように、本発明では、利得の小さい信号光を追加的に増幅することによって、利得補償を行い、信号光の波長および入力光量の異なる複数の信号光

に対し、同等の利得を与えることができる。

【0029】また、希土類添加光ファイバの一方から励起光を入力する場合は、その透過光を有効に利用して追加的な増幅を行うための希土類添加光ファイバを励起する。希土類添加光ファイバの両端から励起光を入力する場合は、より広い入力光量範囲にわたり利得補償を行うことができる。

【0030】信号光の入射部に使い希土類添加光ファイバを0.98  $\mu\text{m}$ 光で励起することで、複数信号光の総合入力光量が多い場合にも雑音特性を改善することができる。

【0031】また、このような利得補償を行う光ファイバ増幅器を増幅部に用いることで、各信号光を伝送方向による利得差を生じることなく増幅する双方向光増幅器が提供される。

【0032】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施形態を説明する。

【0033】まず、エルビウムドープ光ファイバの利得波長特性を図2に示す。図に示すように光ファイバの利得特性は波長依存性をもっている。アナログ信号とデジタル信号の2信号同時増幅を行う場合、市販の光学フィルタの波長分離特性を考慮すると、各信号を1.53  $\mu\text{m}$ と1.56  $\mu\text{m}$ の各利得ピーク波長に設定するのが妥当である。

【0034】また、アナログ信号はデジタル信号に比べると高い信号対雑音比が要求されるため、高入力状態で動作することになる。このような場合、1.56  $\mu\text{m}$ 帯に高入力アナログ信号を、1.53  $\mu\text{m}$ 帯に低入力デジタル信号を割り当てることで、デジタル信号の変動に対しアナログ信号の特性変動を最小にすることが可能になる。ところがそのような場合、長波長側は高利得だが、短波長側は利得を奪われ低利得となる。

【0035】以下の実施例の説明に於いては、アナログ信号で変調される1.56  $\mu\text{m}$ 光を「第1の信号光」とし、デジタル信号で変調される1.53  $\mu\text{m}$ 光を「第2の信号光」とする。また、第1信号光の入力光量を0 dBmとし、第2信号光の入力光量を-30 dBmとする。

【0036】（実施例1）以下、図1を参照しながら、本発明による光ファイバ増幅器の実施例を詳細に説明する。

【0037】図1の光ファイバ増幅器は、波長の異なる複数の信号光が入力される単一の入力端と、その入力端に入力された複数の信号光を光学的に増幅する増幅部と、増幅された複数の信号光をそれぞれ出力する複数の出力端とを備えている。この例では、アナログ信号で変調された波長1.56  $\mu\text{m}$ の信号光（第1の信号光51）と、デジタル信号で変調された波長1.53  $\mu\text{m}$ の信号光（第2の信号光53）が、入力端に入力され、

増幅される。

【0038】増幅部は、第1及び第2の信号光51及び53の両方を増幅する第1エルビウムドープ光ファイバ32と、第2の信号光53のみを増幅する第2エルビウムドープ光ファイバ33とを有している。ふたつのエルビウムドープ光ファイバ32及び33は、合波・分波器24を介して接続されている。この合波・分波器24は、第1エルビウムドープ光ファイバ32を伝播してきた複数の信号光のうち、第2の信号光53を第2エルビウムドープ光ファイバ33に伝える一方、第1の信号光51を選択的に分離して光ファイバ35に入力する。

【0039】第1の信号光51は、光アイソレータ26が挿入された光ファイバ35を介して他の出力端に出力される。出力された第1の信号光は、図1において、「52」で示される。第2エルビウムドープ光ファイバ33で増幅された第2の信号光53は、光アイソレータ27が挿入された光ファイバ36を介して出力端に出力される。出力された第2の信号光は、図1において、「54」で示される。

【0040】増幅部は、第1及び第2エルビウムドープ光ファイバ32及び33を励起する励起光（波長1.48 $\mu\text{m}$ ）56を出射する励起用半導体レーザ12を有している。1.48 $\mu\text{m}$ 帯の励起光は、合波・分波器22によって1.55 $\mu\text{m}$ 帯の信号光と合波され、第1エルビウムドープ光ファイバ32に入力される。第1及び第2の信号光51及び53は、光アイソレータ25が挿入された光ファイバ34を介して、合波・分波器22に入力される。1.48 $\mu\text{m}$ 帯の励起光は、合波・分波器24を透過して、第2エルビウムドープ光ファイバ33に入力され、第2エルビウムドープ光ファイバ33をも励起する。この光ファイバ増幅器に信号光が入射した場合の動作をより詳細に説明する。

【0041】第1の信号光51である1.56 $\mu\text{m}$ 信号光と、第2の信号光53である1.53 $\mu\text{m}$ 信号光は、光ファイバ34の入力端に入射される。1.48 $\mu\text{m}$ 励起光は合波・分波器22で信号光51および53と合波され、エルビウムドープ光ファイバ32に入力される。ここで励起光56は信号光51および53を増幅した後、減衰した透過成分が合波・分波器24を経てエルビウムドープ光ファイバ33に入力される。1.56 $\mu\text{m}$ 信号光51は合波・分波器24により分波され、光アイソレータ26を透過して出力される。一方、1.53 $\mu\text{m}$ 信号光53は合波・分波器24を透過後、エルビウムドープ光ファイバ33に入力される。このエルビウムドープ光ファイバ33において、1.53 $\mu\text{m}$ 信号光53は透過励起光により増幅され、光アイソレータ27を経て出力される。

【0042】図3は、第1及び第2の信号光の入力光量（横軸）に対する透過励起光量（縦軸）を示す。図3から、1.56 $\mu\text{m}$ の第1の信号光だけを入射した場合、

エルビウムドープ光ファイバ32を透過する励起光が10~30mWもあることがわかる。また第1の信号光の入力光量が数dBm（図3では例えば+5dBm）で、第2の信号光を-20~-3dBmまで変化させた場合でも、10mW程度の励起光が、エルビウムドープ光ファイバ32を透過しており、この励起光は、従来の構成では損失となっていることが分かる。本実施例では、従来では損失となっていた透過励起光を、第2のエルビウムドープ光ファイバ33に入射させ、それとともに第1の信号光を除いた第2の信号光だけを第2のエルビウムドープ光ファイバ33に入射させる。こうすることで、第2の信号光が追加的に増幅されることになる。つまり、本実施例では、損失となる透過励起光を積極的に利用し、その結果、第2の信号光に対しても第1の信号光に対する利得と同等の利得を与えることが可能となる。

【0043】この実施例の構成により、第1及び第2の信号光の利得を同等にできたことを図4を用いて説明する。図4の横軸は本実施例の光ファイバ増幅器への1.53 $\mu\text{m}$ の信号の入力光量であり、縦軸は1.53 $\mu\text{m}$ の信号光の利得を示している。この図中、□は、ドープ光ファイバ33がないときの1.53 $\mu\text{m}$ の信号光の利得であり、○は、ファイバ33があるときの利得である。また1.56 $\mu\text{m}$ の信号光との対比できるよう、図4中に、●として1.56 $\mu\text{m}$ の信号光の利得を示しておいた。ここで、1.56 $\mu\text{m}$ 信号光の入力光量は+5dBmの一定としている。

【0044】この図から、1.53 $\mu\text{m}$ の利得○と、1.56 $\mu\text{m}$ の利得●とは、1.53 $\mu\text{m}$ の入力光量が-40~-20dBmの範囲でほぼ同程度になっていることがわかる。これは実施例で説明したように、1.53 $\mu\text{m}$ の信号光がエルビウムドープ光ファイバ32で増幅されたあと、さらに光ファイバ33で増幅されたためである。この結果から、入力波長および入力光量の異なる、1.53 $\mu\text{m}$ および1.56 $\mu\text{m}$ の信号光の利得をほぼ同程度にできるという本実施例の効果がはっきりと確かめられた。

【0045】（実施例2）以下、図5を参照しながら、本発明による光ファイバ増幅器の他の実施例を詳細に説明する。なお、以下の説明において、既に説明した実施例の対応する部分には同一の参照番号を附す。

【0046】図5の光ファイバ増幅器と図1の光ファイバ増幅器との相違点は、図5の光ファイバ増幅器が、第2の励起光源として1.48 $\mu\text{m}$ の励起用半導体レーザ13を更に備え、励起用半導体レーザ13から放射された励起光をエルビウムドープ光ファイバ33に入力するための合波・分波器23をエルビウムドープ光ファイバ33と光アイソレータ27との間に設けている点にある。この合波・分波器23は、1.48 $\mu\text{m}$ 光及び1.55 $\mu\text{m}$ 光に対して合波・分波を行う。

【0047】この光ファイバ増幅器に2つの号光を入射

させた場合について説明する。

【0048】第1の信号光51である1. 56  $\mu\text{m}$ 信号光と、第2の信号光53である1. 53  $\mu\text{m}$ 信号光は、光ファイバ34から入射される。励起光56は合波・分波器22で信号光51および53と合波され、エルビウムドープファイバ32に入力される。ここで励起光56は信号光51および53を増幅した後、減衰した透過成分が合波・分波器24を経てエルビウムドープ光ファイバ33に入力される。1. 56  $\mu\text{m}$ 信号光51は合波・分波器24により分波され、光アイソレータ26を透過して出力される。1. 53  $\mu\text{m}$ 信号光53は合波・分波器24を透過後、エルビウムドープ光ファイバ33に入力される。一方、励起光57は合波・分波器23で信号光53と合波され、エルビウムドープファイバ33に入力される。このエルビウムドープ光ファイバ33において、1. 53  $\mu\text{m}$ 信号光53は透過した励起光56と励起光57により増幅され、光アイソレータ27を経て出力される。

【0049】図3より、第1の信号光の入力光量が数dBm以上と大きい場合には透過励起光量が非常に小さくなり、第2の信号光を追加励起するには不十分となることが分かる。このような場合にも各信号光波長の利得を補償するためには、本実施例のように、エルビウムドープ光ファイバ33の後方からも励起光を入手させる構成が有効となる。

【0050】（実施例3）以下、図6を参照しながら、本発明による光ファイバ増幅器の更に他の実施例を詳細に説明する。なお、以下の説明において、既に説明した実施例の対応する部分には同一の参照番号を附す。

【0051】図6の光ファイバ増幅器と図5の光ファイバ増幅器との相違点は、図6の光ファイバ増幅器が、更に、エルビウムドープ光ファイバ31と、励起用半導体レーザ11と、分波・合波器21とを備えている点にある。ここで、励起用半導体レーザ11は、波長0. 98  $\mu\text{m}$ の励起光を放射する。合波・分波器21は0. 98  $\mu\text{m}$ 光と1. 55  $\mu\text{m}$ 光の合波・分波を行う。図6において、55は0. 98  $\mu\text{m}$ 励起光を示す。

【0052】この光ファイバ増幅器に2つの信号光が入射した場合について説明する。

【0053】第1の信号光51である1. 56  $\mu\text{m}$ 信号光と、第2の信号光53である1. 53  $\mu\text{m}$ 信号光は、光ファイバ34から入射される。0. 98  $\mu\text{m}$ 励起光55は合波・分波器21で信号光51および53と合波され、エルビウムドープファイバ31に入力される。ここで励起光55により増幅された信号光51および53は、合波・分波器22を経てエルビウムドープ光ファイバ32に入力される。励起光56は合波・分波器22で信号光51および53と合波され、エルビウムドープファイバ32に入力される。ここで励起光56は信号光51および53を増幅した後、減衰した透過成分が合波・

分波器24を経てエルビウムドープ光ファイバ33に入力される。1. 56  $\mu\text{m}$ 信号光51は合波・分波器24により分波され、光アイソレータ26を経て出力される。一方、1. 53  $\mu\text{m}$ 信号光53は合波・分波器24を透過後、エルビウムドープ光ファイバ33に入力される。このエルビウムドープ光ファイバ33において、1. 53  $\mu\text{m}$ 信号光53は透過励起光により増幅され、光アイソレータ27を信号光54として経て出力される。

【0054】複数波長の信号光が入力される場合、トータルの入力光量の増加により雑音特性の劣化が生じることになる。その場合にも、本構成によれば信号光入力部を0. 98  $\mu\text{m}$ 励起することで、低雑音化が可能となる。また、0. 98  $\mu\text{m}$ 励起光と1. 48  $\mu\text{m}$ 励起光により同時に増幅する場合には雑音特性の劣化が生じるが、本構成に於いては1. 48  $\mu\text{m}$ 光は0. 98  $\mu\text{m}$ 励起領域に入射しないためそのような問題は生じない。

【0055】（実施例4）以下、図7を参照しながら、本発明による光ファイバ増幅器の更に他の実施例を詳細に説明する。なお、以下の説明において、既に説明した実施例の対応する部分には同一の参照番号を附す。

【0056】図7の光ファイバ増幅器は、波長の異なる複数の信号光が入力される2つの入力端と、それらの入力端に入力された複数の信号光を光学的に増幅する増幅部と、増幅された複数の信号光をそれぞれ出力する単一の出力端とを備えている。この例では、アナログ信号で変調された波長1. 56  $\mu\text{m}$ の信号光（第1の信号光51）と、デジタル信号で変調された波長1. 53  $\mu\text{m}$ の信号光（第2の信号光53）が、別々の入力端に入力され、増幅される。

【0057】増幅部は、第2の信号光53のみを増幅する第1エルビウムドープ光ファイバ132と第1及び第2の信号光51及び53の両方を増幅する第2エルビウムドープ光ファイバ133とを有している。ふたつのエルビウムドープ光ファイバ1132及び133は、合波・分波148を介して接続されている。この合波・分波器148は、第1の信号光51と第1エルビウムドープ光ファイバ132を伝播してきた第2の信号光53とを合波し、第2エルビウムドープ光ファイバ133に入力する。第1の信号光51は、光アイソレータ126が挿入された光ファイバ135を介して合波・分波器148に入力される。

【0058】第2エルビウムドープ光ファイバ133で増幅された第1及び第2の信号光51及び53は、光アイソレータ27が挿入された光ファイバ36を介して共通の出力端に出力される。

【0059】増幅部は、第1及び第2エルビウムドープ光ファイバ132及び133を励起する励起光（波長1. 48  $\mu\text{m}$ ）を射出する励起用半導体レーザ12を有している。第2の信号光53は、光アイソレータ25が



挿入された光ファイバ34を介して、合波器22に入力される。1.48 $\mu\text{m}$ 帯の励起光は、合波・分波器22によって1.53 $\mu\text{m}$ の第2の信号光と合波され、第1エルビウムドープ光ファイバ132に入力される。第1エルビウムドープ光ファイバ132を透過した1.48 $\mu\text{m}$ 帯の励起光は、更に合波・分波器148を透過して、第2エルビウムドープ光ファイバ133に入力され、第2エルビウムドープ光ファイバ133をも励起する。

【0060】(実施例5)以下、図8を参照しながら、10  
本発明による光ファイバ増幅器の更に他の実施例を詳細に説明する。なお、以下の説明において、既に説明した実施例の対応する部分には同一の参照番号を附す。

【0061】図8の光ファイバ増幅器と図7の光ファイバ増幅器との相違点は、図8の光ファイバ増幅器が、第2の励起光源として1.48 $\mu\text{m}$ の励起用半導体レーザ13を更に備え、励起用半導体レーザ13から放射された励起光をエルビウムドープ光ファイバ133に入力するための合波・分波器23をエルビウムドープ光ファイバ133と光アイソレータ27との間に設けている点にある。この合波・分波器23は、1.48 $\mu\text{m}$ 光及び1.55 $\mu\text{m}$ 光に対して合波・分波を行う。20

【0062】(実施例6)以下、図9を参照しながら、本発明による光ファイバ増幅器の更に他の実施例を詳細に説明する。なお、以下の説明において、既に説明した実施例の対応する部分には同一の参照番号を附す。

【0063】図9の光ファイバ増幅器と図8の光ファイバ増幅器との相違点は、図9の光ファイバ増幅器が、更に、エルビウムドープ光ファイバ131と、励起用半導体レーザ11と、分波・合波器21とを備えている点にある。ここで、励起用半導体レーザ11は、波長0.98 $\mu\text{m}$ の励起光を放射する。合波・分波器21は0.98 $\mu\text{m}$ 光と1.55 $\mu\text{m}$ 光の合波・分波を行う。30

【0064】(実施例7)以下、図10を参照しながら、本発明による双方向光増幅器の実施例を詳細に説明する。なお、以下の説明において、既に説明した実施例の対応する部分には同一の参照番号を附す。

【0065】本実施例の光増幅部は、図1の実施例と同様に、波長1.48 $\mu\text{m}$ の励起用半導体レーザ12、1.48 $\mu\text{m}$ 光と1.55 $\mu\text{m}$ 光の合波・分波器22、波長帯域1.55 $\mu\text{m}$ 以下と1.55 $\mu\text{m}$ 光の合波・分波器24、光アイソレータ25、26及び27、エルビウムドープ光ファイバ32及び33を備えている。さらに光サーキュレータ46及び47、合波・分波器48、光ファイバ37及び38を用いることで、双方向からの信号光の合波・分波部を構成している。40

【0066】51は光ファイバ37に入力される第1の信号光、52は光ファイバ38から出力される増幅された第1の信号光、53は光ファイバ38に入力される第2の信号光、54は光ファイバ37から出力される増幅50

された第2の信号光である。

【0067】次にこの双方向光増幅器に2つの信号光が入射した場合について説明する。

【0068】いま、光ファイバ37の右側から第1の信号光51が入力される。この信号光51は光サーキュレータ46に入力されると、光サーキュレータの働きにより光ファイバ37からの信号光のみが合波・分波器48へ入射し、第2の信号光53と合波された後、光アイソレータ25を介してエルビウムドープ光ファイバ32に入力される。

【0069】増幅された第1の信号光51は光増幅部内の合波・分波器24により分波され、光サーキュレータ47の方向のみに出射し、光サーキュレータ46の方向には出射しない。増幅された第1の信号光51は光サーキュレータ47に入力されると、光サーキュレータの働きにより光ファイバ38の方向へ透過し、出力する。光ファイバ38の左側から入力される波長1.53 $\mu\text{m}$ の第2の信号光53は、光サーキュレータ47に入射した後、合波・分波器48で1.56 $\mu\text{m}$ の信号光51と合波され、エルビウムドープ光ファイバ32および33で増幅される。増幅された信号光53は光サーキュレータ46へ入力されると、光サーキュレータの働きにより光ファイバ37の右側へ透過し、増幅された信号光54として出力される。

【0070】本構成によれば、図1の光ファイバ増幅器を光増幅に用いているため、双方向に増幅される信号光の利得が均等である双方向光増幅器を提供できる。

【0071】(実施例8)以下、図11を参照しながら、本発明による双方向光増幅器の他の実施例を詳細に説明する。なお、以下の説明において、既に説明した実施例の対応する部分には同一の参照番号を附す。

【0072】本実施例の光増幅部は、図5の実施例と同様に、波長1.48 $\mu\text{m}$ の励起用半導体レーザ12と13、1.48 $\mu\text{m}$ 光と1.55 $\mu\text{m}$ 光の合波・分波器22と23、波長帯域1.55 $\mu\text{m}$ 以下と1.55 $\mu\text{m}$ 光の合波・分波器24、光アイソレータ25と26と27、エルビウムドープ光ファイバ32と33を備えている。さらに光サーキュレータ46と47、合波・分波器48、光ファイバ37と38を用いることで双方向の信号光の合波・分波を行う構成としている。

【0073】51は光ファイバ37に入力される第1の信号光、52は光ファイバ38から出力される増幅された第1の信号光、53は光ファイバ38に入力される第2の信号光、54は光ファイバ37から出力される増幅された第2の信号光である。

【0074】次にこの光ファイバ増幅器に二つの信号光が入射した場合について説明する。

【0075】いま、光ファイバ37の右側から第1の信号光51が入力される。この信号光51は光サーキュレータ46に入力されると、光サーキュレータの働きによ

り光ファイバ37からの信号光のみが合波・分波器48へ入射し、第2の信号光53と合波された後、エルビウムドープ光ファイバ32にされる。

【0076】増幅された第1の信号光51は光増幅部内の合波・分波器24により分波され、光サーキュレータ47の方向のみに出射し、光サーキュレータ46の方向には出射しない。増幅された第1の信号光52は光サーキュレータ47に入力されると、光サーキュレータの働きにより光ファイバ38の方向へ透過し、出力する。光ファイバ38の左側から入力される波長1.53μmの第2の信号光53は、光サーキュレータ47に入射した後、合波・分波器48で1.56μmの信号光51と合波され、エルビウムドープ光ファイバ32および33で増幅される。増幅された信号光53は光サーキュレータ46へ入力されると、光サーキュレータの働きにより光ファイバ37の右側へ透過し、増幅された信号光54として出力される。

【0077】本構成によれば、図5の光ファイバ増幅器を光増幅部に用いているため、入力光量が多い場合にも双方向に増幅される信号光の利得が均等である双方向光増幅器を提供できる。

【0078】(実施例9)以下、図12を参照しながら、本発明による双方向光増幅器の更に他の実施例を詳細に説明する。なお、以下の説明において、既に説明した実施例の対応する部分には同一の参照番号を附す。

【0079】本実施例の光増幅部は、図6の光ファイバ増幅器と同様に、波長0.98μmの励起用半導体レーザー11、波長1.48μmの励起用半導体レーザー12と13、0.98μm光と1.55μm光の合波・分波器21、1.48μm光と1.55μm光の合波・分波器22と23、波長帯域1.55μm以下と1.55μm光の合波・分波器24、光アイソレータ25と26と27、エルビウムドープ光ファイバ31と32と33を備えている。さらに光サーキュレータ46と47、合波・分波器48、光ファイバ37と38を用いることで双方向からの信号光の合波・分波部を構成している。

【0080】51は光ファイバ37に入力される第1の信号光、52は光ファイバ38から出力される増幅された第1の信号光、53は光ファイバ38に入力される第2の信号光、54は光ファイバ37から出力される増幅された第2の信号光である。

【0081】次に、この光ファイバ増幅器に信号光が入射した場合について説明する。

【0082】いま、光ファイバ37の右側から第1の信号光51が入力される。この信号光51は光サーキュレータ46に入力されると、光サーキュレータの働きにより光ファイバ37からの信号光のみが合波・分波器48へ入射し、第2の信号光53と合波された後、エルビウムドープ光ファイバ31に入力される。

【0083】増幅された第1の信号光51は光増幅部内

の合波・分波器により分波され、光サーキュレータ47の方向のみに出射し、光サーキュレータ46の方向には出射しない。この信号光51は光サーキュレータ47に入力されると、光サーキュレータの働きにより光ファイバ38の方向へ透過し、出力する。

【0084】同様に、光ファイバ38の左側から入力される波長1.53μmの第2の信号光53は、光サーキュレータ47に入射した後、合波・分波器48で1.56μmの信号光51と合波され、エルビウムドープ光ファイバ31と32と33で増幅される。増幅された信号光53は光サーキュレータ46へ入力されると、光サーキュレータの働きにより光ファイバ37の右側へ透過し、増幅された信号光54として出力される。

【0085】本構成によれば、図6の光増幅器を光増幅部に用いているため、全信号光の総合入力光量が多い場合にも、双方向に増幅される信号光の利得が均等で、なおかつ雑音特性の良好な双方向光増幅器を提供できる。

【0086】(実施例10)以下、図13を参照しながら、本発明による双方向光増幅器の更に他の実施例を詳細に説明する。なお、以下の説明において、既に説明した実施例の対応する部分には同一の参照番号を附す。

【0087】図13の双方向光増幅器と図10の双方向光増幅器との相違点は、図13の双方向光増幅器が、光サーキュレータ46及び47の代わりに、分波・合波器146及び147を用いている点にある。分波・合波器としては、WDMカプラが好ましい。

【0088】なお、図11及び図12の双方向光増幅器においても、光サーキュレータ46及び47の代わりに、分波・合波器146及び147を用いても良い。

【0089】(実施例11)以下、図14を参照しながら、本発明による双方向光増幅器の更に他の実施例を詳細に説明する。なお、以下の説明において、既に説明した実施例の対応する部分には同一の参照番号を附す。

【0090】本実施例の光増幅部は、図7の実施例と同様に、波長1.48μmの励起用半導体レーザー12、1.48μm光と1.53μm光の合波・分波器22、波長帯域1.55μm以下と1.55μm光の合波・分波器124及び148、光アイソレータ25、126、127及び227、エルビウムドープ光ファイバ132及び133を備えている。さらに光サーキュレータ46及び47、光ファイバ37と38を用いることで、双方向からの信号光の合波・分波部を構成している。

【0091】51は光ファイバ37に入力される第1の信号光、52は光ファイバ38から出力される増幅された第1の信号光、53は光ファイバ37に入力される第2の信号光、54は光ファイバ38から出力される増幅された第2の信号光である。

【0092】次にこの双方向光増幅器に2つの信号光が入射した場合について説明する。

10

20

30

40

50

【0093】いま、光ファイバ37の右側から第1の信号光51が入力される。この信号光51は光サーキュレータ46に入力されると、光サーキュレータ46の働きにより光ファイバ37からの信号光のみが合波・分波器148へ入射し、第2の信号光53と合波された後、エルビウムドープ光ファイバ133に入力される。

【0094】エルビウムドープ光ファイバ133で増幅された第1の信号光51は光増幅部内の合波・分波器124により分波され、光アイソレータ127を経て、光サーキュレータ47のある側に伝播し、光サーキュレータ46のある側には伝播しない。増幅された第1の信号光51は光サーキュレータ47に入力されると、光サーキュレータの働きにより光ファイバ38の方向へ透過し、出力する。

【0095】同様に、光ファイバ38の左側から入力される波長1.53 $\mu\text{m}$ の第2の信号光53は、光サーキュレータ47に入射した後、合波器22で励起光源12からの励起光と合波され、エルビウムドープ光ファイバ132に入力される。エルビウムドープ光ファイバ132で増幅された第2の信号光53は、合波・分波器148で1.56 $\mu\text{m}$ の信号光51と合波され、エルビウムドープ光ファイバ133で更に増幅される。増幅された第2の信号光53は、合波器124で図中右側に分離され、光アイソレータ227を経て、光サーキュレータ46へ入力される。増幅された第2の信号光53は光サーキュレータ46の働きにより光ファイバ37の右側へ透過し、信号光54として出力する。

【0096】（実施例12）以下、図15を参照しながら、本発明による双方向光増幅器の更に他の実施例を詳細に説明する。なお、以下の説明において、既に説明した実施例の対応する部分には同一の参照番号を附す。

【0097】図15の双方向光増幅器と図14の双方向光増幅器との相違点は、図15の双方向光増幅器が、第2の励起光源として1.48 $\mu\text{m}$ の励起用半導体レーザ13を更に備え、励起用半導体レーザ13から放射された励起光をエルビウムドープ光ファイバ32に入力するための合波・分波器23をエルビウムドープ光ファイバ32と光アイソレータ27との間に設けている点にある。この合波・分波器23は、1.48 $\mu\text{m}$ 光及び1.55 $\mu\text{m}$ 光に対して合波・分波を行う。

【0098】（実施例13）以下、図16を参照しながら、本発明による光ファイバ伝送システムの実施例を詳細に説明する。

【0099】送信局101は信号光源102から、加入者105は受光器107を有している。送信局101と加入者105とは伝送路131で接続され、途中に実施例1記載の光ファイバ増幅器111、1 $\times$ 8光分岐器121が挿入されている。

【0100】次に、この光伝送システムでアナログ光信号を送受信する場合を説明する。

【0101】送信局101においては、アナログ信号で強度変調された信号光源102としての1.56 $\mu\text{m}$ 半導体レーザからの出力光は、光ファイバ増幅器111により増幅した後、伝送路131として長さ10kmのシングルモード光ファイバへと伝送される。このアナログ信号光は、加入者105では受光器107としてのpin-PDにて受光される。

【0102】このように、光ファイバ増幅器111としては、本発明による光ファイバ増幅器であれば何れのものを用いても良い。本実施例によれば、各信号光の利得が等しいことより、光増幅器の接続段数を増やした場合にも、信号光間での受光光量にばらつきが無く、安定な特性が得られる。特に、図5の光ファイバ増幅器を使用すれば、アナログ信号光の信号対雑音比をとるために入力光量が大きい場合にも、各信号光の利得を等しく出来る。従って、光増幅器の接続段数を増やす場合にも、受光器が受ける光量にチャンネル間偏差がなく、安定な特性が得られる。また、図6の光ファイバ増幅器を使用すれば、信号光入射部を0.98 $\mu\text{m}$ 励起しているため、全信号光の入力光量が大きい場合にも良好な雑音特性が得られる。

【0103】（実施例14）以下、図17を参照しながら、本発明による光ファイバ伝送システムの実施例を詳細に説明する。

【0104】送信局101は信号光源102と受光器103と合波・分波器104を有しており、加入者105は信号光源106と受光器107と合波・分波器108とを有している。送信局101と加入者105とは、伝送路131で接続され、途中に前述の何れかの双方向光増幅器114と1 $\times$ 8光分岐器121とが挿入されている。

【0105】次に、この光伝送システムでアナログ光信号とデジタル光信号を送受信する場合を、まず送信局から加入者側への下りアナログ信号、ついで上りデジタルについて説明する。

【0106】送信局101においては、アナログ信号で強度変調された信号光源102としての1.56 $\mu\text{m}$ 半導体レーザからの出力光は、合波・分波器104を経て出力される。これをアナログ・デジタル双方向光増幅器114により増幅した後、伝送路131として長さ10kmのシングルモード光ファイバへと伝送される。このアナログ信号光は、加入者105では合波・分波器108を経て、受光器107としてのpin-PDにて受光される。

【0107】加入者105においては、デジタル信号で強度変調された信号光源106としての1.53 $\mu\text{m}$ 半導体レーザからの出力光が、合波・分波器108において1.56 $\mu\text{m}$ 光と合波され伝送路131としての長さ10kmのシングルモード光ファイバへと送出される。このデジタル信号光は双方向光ファイバ増幅器1

15により増幅された後、送信局101へ到達する。送信局101では、合波・分波器104により1.56 $\mu$ m光と分波した後、Ge-APDからなる受光器103にて受光される。

【0108】このように本光ファイバ伝送システムは、本発明による前記双方向光増幅器を用いているため、双方向に伝搬する信号光に対し利得が等しくなる。従って、光増幅器の接続段数を増やす場合にも、加入者側からの信号光量が増減する場合にも、受光器が受ける光量は変動しないため、安定な特性が得られる。

【0109】このように本発明の双方向光増幅器を用いるため、アナログ信号光の信号対雑音比をとるために入力光量が多い場合にも、双方向に伝搬する信号光の利得を等しく出来る。従って、光増幅器の接続段数を増やす場合にも、加入者側からの信号光量が増減する場合にも、受光器が受ける光量は変動しないため、安定な特性が得られる。

【0110】図18に、双方向光増幅器115中のエルビウムドープ光ファイバ33の有無による、本実施例における1.53 $\mu$ mデジタル信号伝送特性の違いを示す。伝送速度は200Mbpsである。エルビウムドープ光ファイバ33が無い場合には、符号誤り率 $10^{-9}$ を与える最小受光光量は-26dBmであるのが、有る場合には-35dBmとなり、9dBの特性向上が得られている。すなわち、双方向にわたる光伝送システムにおいて本構成の採用は、伝送特性の向上に対しても効果が大きいことが明かである。

【0111】このように本発明による双方向光増幅器を用いると、双方向に伝搬する信号光に対し利得が等しいことより、光増幅器の接続段数を増やす場合にも、加入者側からの信号光量が増減する場合にも、受光器が受ける光量は変動しないため、安定な特性が得られる。また、信号光入射部を0.98 $\mu$ m励起しているため、全信号光の入力光量が多い場合にも良好な雑音特性が得られる。

【0112】なお、本実施例においては双方向光増幅器は送信局側に近い位置に設置し、アナログ信号光に対してはポストアンプとして、デジタル信号光に対してはプリアンプとして動作させているが、双方向光増幅器の設置位置によりポストアンプ、インラインアンプあるいはプリアンプとして動作可能である。

【0113】また、本実施例では、第1の波長帯域の信号光として、1波長からなるアナログ信号光のみを示したが、同時に第1の波長帯域内の他の波長を用いて、他の複数のアナログあるいはデジタルの信号光を伝送することができる。また、同様に、第2の波長帯域の信号光として、複数の波長の信号光を伝送できることはいふまでもない。

【0114】さらに、合波・分波器が透過する波長帯域が3つ以上である場合も、本発明の思想には含まれる。

【0115】また本実施例では、希土類のエルビウムが添加された1.5 $\mu$ m帯の光増幅器について述べたが、本発明は、ネオジムやプラセオジウム等の他の希土類を用いた異なる波長帯の光増幅器についても同様の効果が得られる物であり、何等、その構成材料等に制限を加えるものではない。

【0116】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、多波長の信号光利得が等しくなる光ファイバ増幅器を提供できる。また、異なる2方向から入力される多波長信号光を等利得で増幅する双方向光ファイバ増幅器を提供できる。更に、光ファイバ増幅器を多段に接続した場合にも、受光部に於ける受光量がチャンネル間で均等になるため、安定した特性が得られる光伝送システムを提供できる。

【0117】また、本発明によれば、双方向光増幅器を多段に接続する場合にも、双方向の利得が均一になるため、安定した特性が得られる光伝送システムを提供できる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による光ファイバ増幅器の実施例の構成を示す図。

【図2】本発明の実施例に用いたエルビウムドープ光ファイバにおける利得の波長依存性を示す図。

【図3】本発明の実施例に用いたエルビウムドープ光ファイバにおける励起光透過光量の入力光量依存性を示す図。

【図4】本発明の実施例に用いた1.53 $\mu$ mの信号光と1.56 $\mu$ mの信号光との利得を比較する図

【図5】本発明による光ファイバ増幅器の他の実施例の構成を示す図。

【図6】本発明による光ファイバ増幅器の更に他の実施例の構成を示す図。

【図7】本発明による光ファイバ増幅器の更に他の実施例の構成を示す図。

【図8】本発明による光ファイバ増幅器の更に他の実施例の構成を示す図。

【図9】本発明による光ファイバ増幅器の更に他の実施例の構成を示す図。

【図10】本発明による双方向光増幅器の実施例の構成を示す図。

【図11】本発明による双方向光増幅器の他の実施例の構成を示す図。

【図12】本発明による双方向光増幅器の更に他の実施例の構成を示す図。

【図13】本発明による双方向光増幅器の更に他の実施例の構成を示す図。

【図14】本発明による双方向光増幅器の更に他の実施例の構成を示す図。

【図15】本発明による双方向光増幅器の更に他の実施

例の構成を示す図。

【図 16】本発明による光ファイバ伝送システムの実施例の構成を示す図。

【図 17】本発明による光ファイバ伝送システムの他の実施例の構成を示す図。

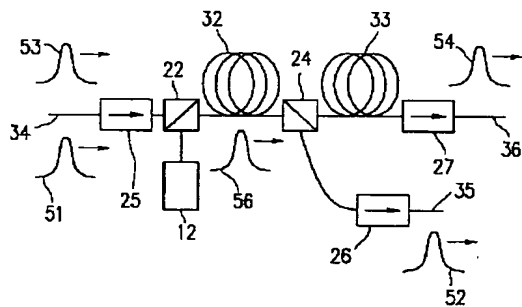
【図 18】本発明による双方向光増幅器中の第 2 のエルビウムドープ光ファイバの有無による、1. 53  $\mu\text{m}$  デジタル信号伝送特性の違いを示すグラフ。

【符号の説明】

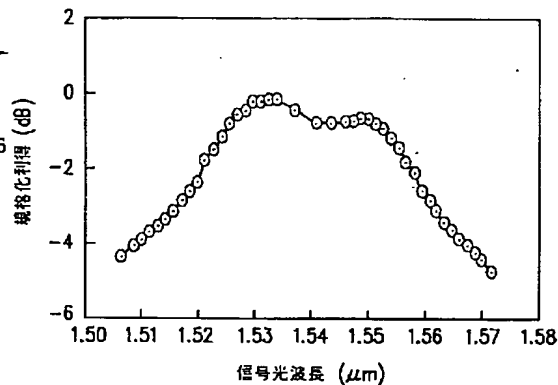
1 1 波長 0. 98  $\mu\text{m}$  の励起用半導体レーザー  
1 2、1 3 波長 1. 48  $\mu\text{m}$  の励起用半導体レーザー  
2 1 0. 98  $\mu\text{m}$  光と 1. 55  $\mu\text{m}$  光の合波・分波器  
2 2、2 3 1. 48  $\mu\text{m}$  光と 1. 55  $\mu\text{m}$  光の合波・分波器  
2 4 波長帯域 1. 55  $\mu\text{m}$  以下と 1. 55  $\mu\text{m}$  光の合波・分波器  
2 5、2 6、2 7 光アイソレータ  
3 1、3 2、3 3 エルビウムドープ光ファイバ  
3 4、3 5、3 6 光ファイバ  
4 6、4 7 光サーキュレータ

4 8 合波・分波器  
5 1 光ファイバ 3 4 に入力される第 1 の信号光  
5 2 光ファイバ 3 5 から出力される増幅された第 1 の信号光  
5 3 光ファイバ 3 4 に入力される第 2 の信号光  
5 4 光ファイバ 3 6 から出力される増幅された第 2 の信号光  
5 5 0. 98  $\mu\text{m}$  励起光  
5 6、5 7 1. 48  $\mu\text{m}$  励起光  
1 0 1 送信局  
1 0 2 信号光源  
1 0 3 受光器  
1 0 4 合波・分波器  
1 0 5 加入者  
1 0 6 信号光源  
1 0 7 受光器  
1 0 8 合波・分波器  
2 0 1 1 1 光ファイバ増幅器  
1 1 4 双方向光増幅器  
1 2 1 1  $\times$  8 光分岐器  
1 3 1 光ファイバ

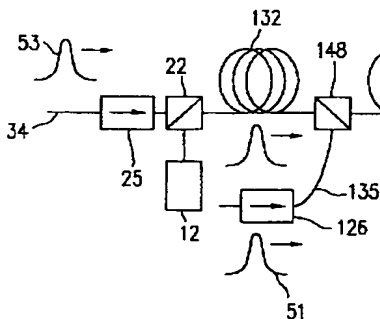
【図 1】



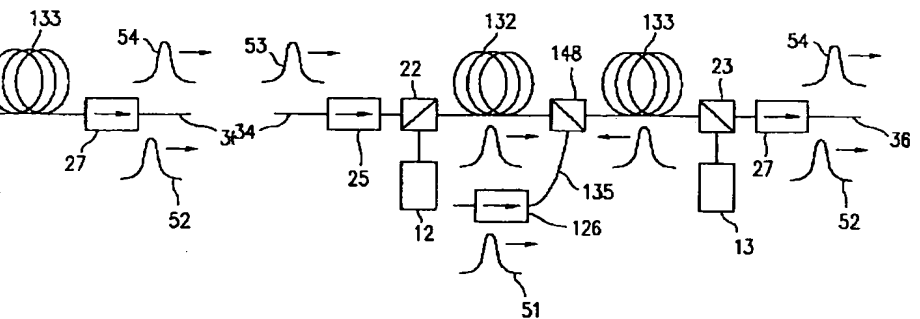
【図 2】



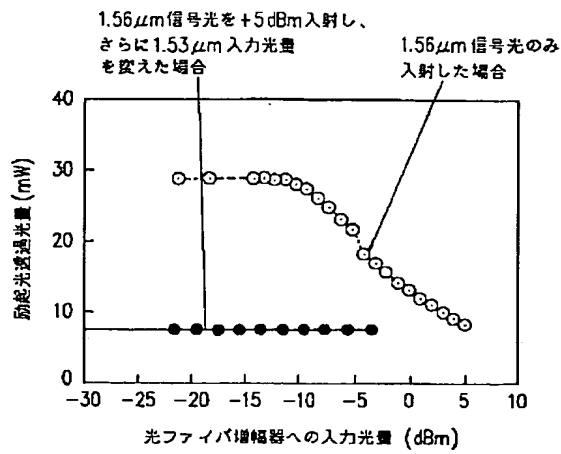
【図 7】



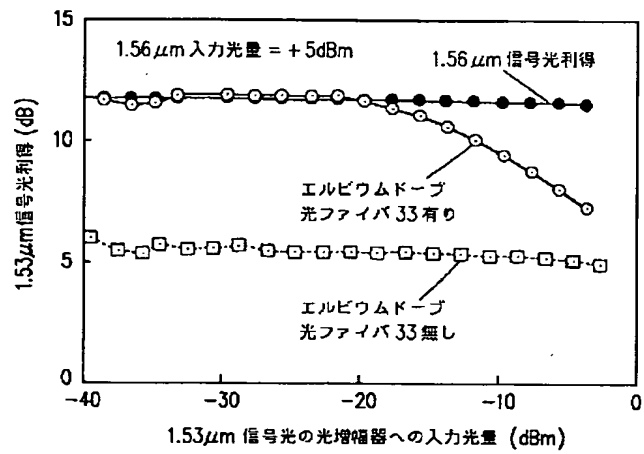
【図 8】



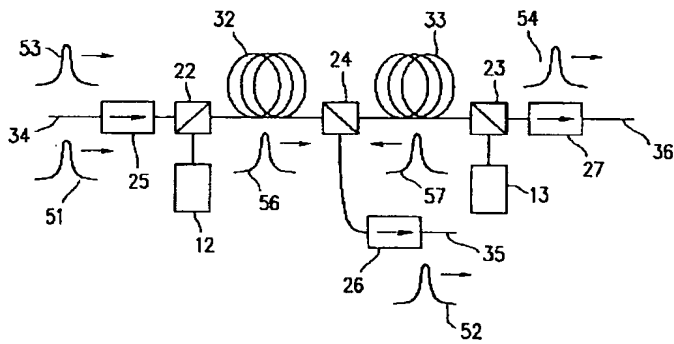
【図 3】



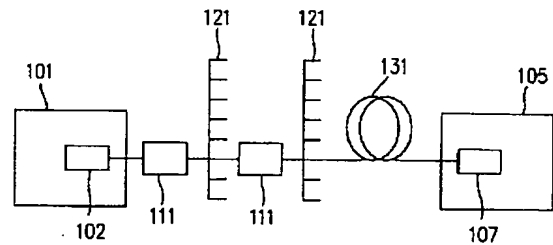
【図 4】



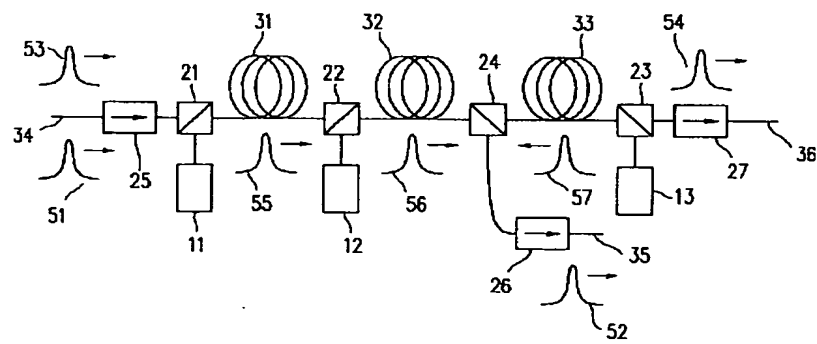
【図 5】



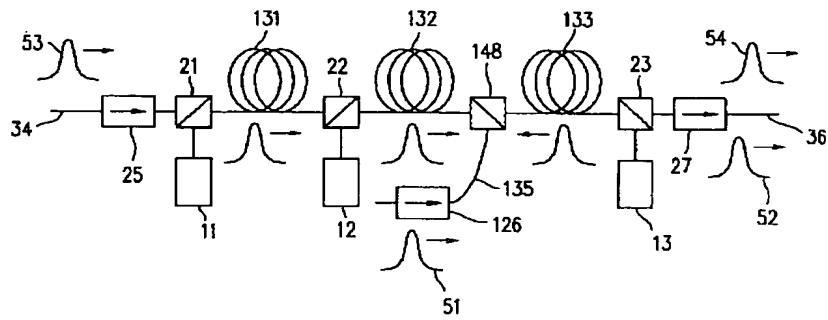
【図 16】



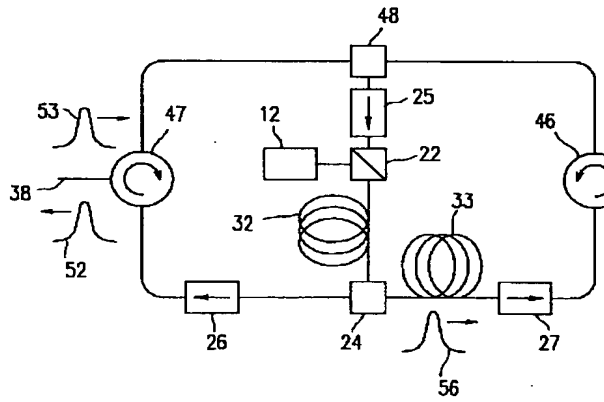
【図 6】



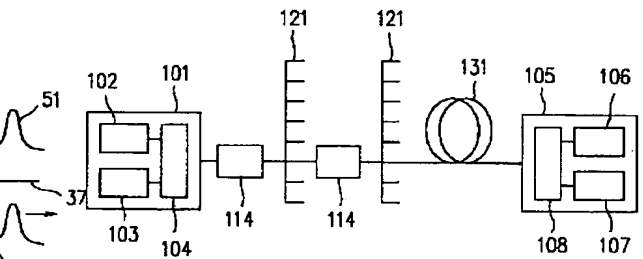
【図9】



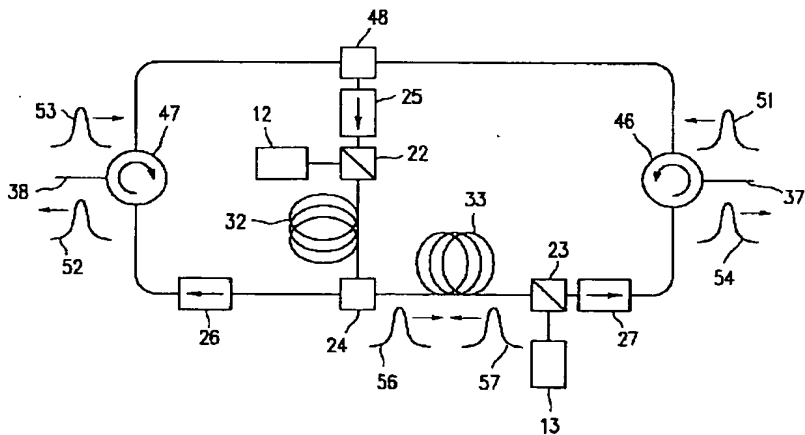
【図10】



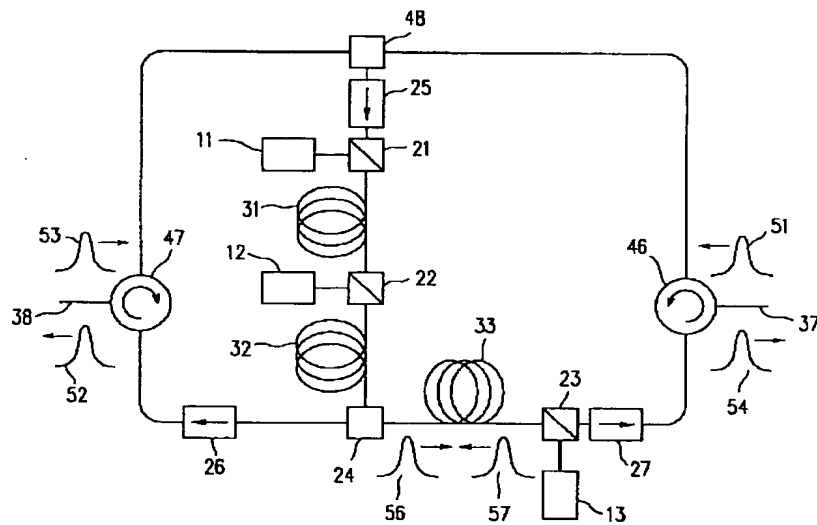
【図17】



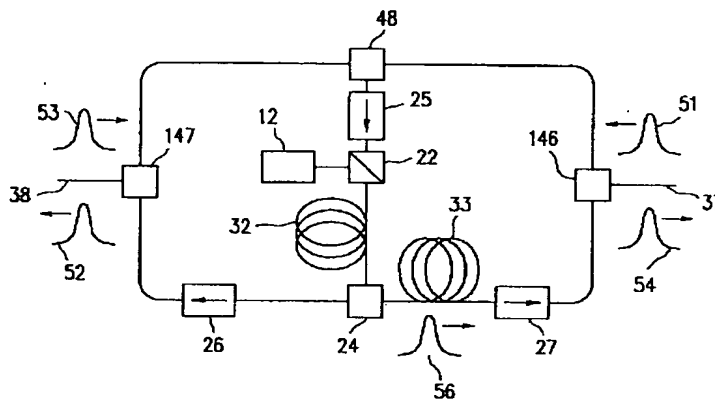
【図11】



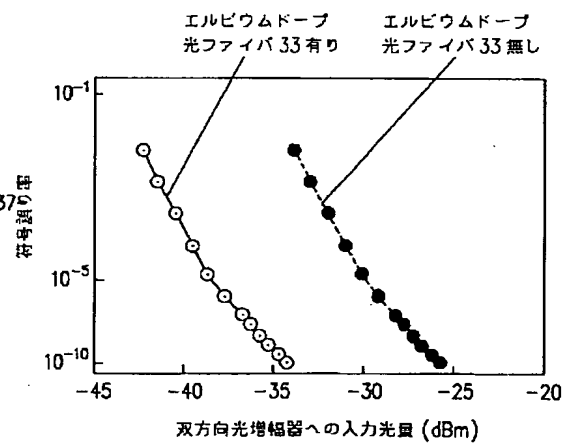
【図 1 2】



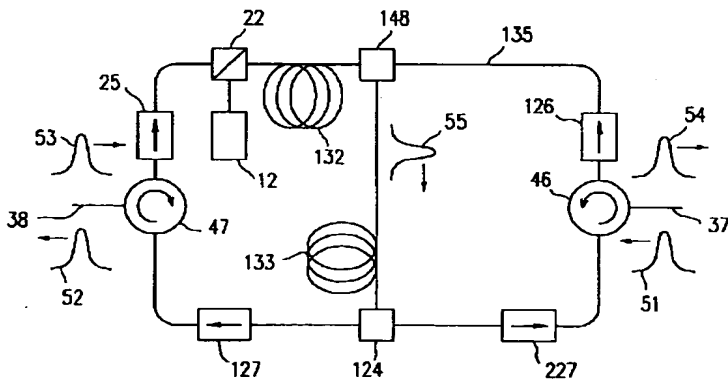
【図 1 3】



【図 1 8】

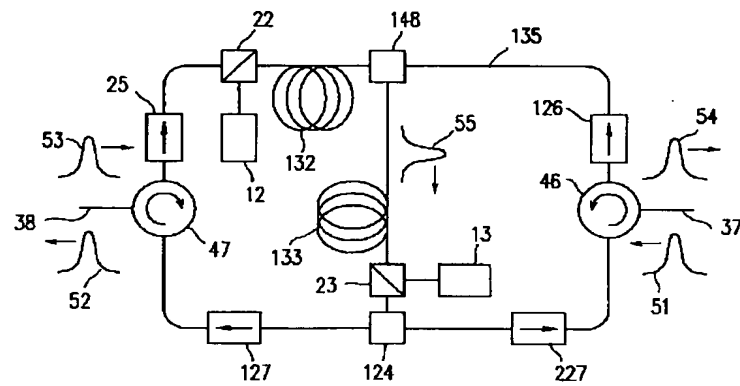


【図 1 4】





【図 15】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

H 01 S 3/17

H 04 B 10/17

10/16

識別記号

片内整理番号

F I

技術表示箇所